

범용 평판 스캐너를 이용한 해변 모래의 입도분석 Beach Sand Grain Size Analysis using Commercial Flat-bed Scanner

천세현* · 안경모** · 서경덕***

Se-Hyeon Cheon*, Kyungmo Ahn** and Kyung-Duck Suh*

요 지 : 모래의 입도를 분석하기 위해서는 체진동기, 비디오카메라, 현미경, 레이저 회절분석기 등 비교적 고가의 장비들이 사용된다. 이 장비들 중 가장 널리 사용되는 것이 체진동기이며, 이는 체가름 시험법에 사용되는 체진동기의 가격이 다른 장비에 비해 상대적으로 저렴할 뿐 아니라 그 정확도가 널리 인정되고 있기 때문이다. 그러나 체가름 시험법은 분석에 필요한 시간이 길고 분석 시 소음과 먼지 등이 발생하며 사용 가능한 체의 크기가 한정되어 분석 급간의 조정이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 해변 모래에 대하여 체가름 시험법 수준의 정확도를 갖는 효율적인 입도분석 방법으로 범용 평판 스캐너와 암실상자를 이용한 방법을 제안하였다. 암실상자는 스캐너에서 얻어지는 모래 입자의 이미지를 보다 선명하게 하며 모래 입자로부터 평판 스캐너의 상부 유리 덮개를 보호하는 역할을 한다. 본 연구에서 제안한 방법을 체가름 시험법과 비교 검증하였다. 검증결과 본 연구에서 제안한 평판 스캐너를 이용한 해변 모래의 입도분석 방법을 체가름 시험법 수준의 정확성을 가지고 있을 뿐 아니라 분석에 필요한 시간과 노력을 크게 줄일 수 있었다.

핵심용어 : 입도분석, 입도분포, 스캐너, 이미지분석, 체가름 시험

Abstract : For analyzing sand grain size, a specialized high-priced instrument has been used, such as sieve shaker, video camera, laser particle size analyzer, and microscope. Among these, the sieve shaker is commonly used because it is not only cheaper than others but also provides reasonable accuracy. However, it takes a long time and makes lots of dust and noise. In this study, a cheaper and easier method which can replace the sieve shaker is proposed. By using a commercial flat-bed scanner and a darkroom box, the sand size distribution can be analyzed. The darkroom box makes sand images clear and protects the glass of the scanner from being scratched. Comparison between the present method and sieve analysis shows that the present method not only has an accuracy comparable to the sieve analysis but also can save time and effort.

Keywords : sand size analysis, size distribution, scanner, image analysis, sieve analysis

1. 서 론

모래의 입도는 해변의 침식 및 퇴적과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이는 모래의 이동과 부유에 저항력으로 작용하는 모래의 질량이 모래의 평균입도의 제곱과 비례관계에 있기 때문이다. 따라서 모래의 입도는 해변의 침식과 퇴적을 평가하는 수식(Bruun, 1962; Dean, 1977; Dingle and Inman, 1976; Kriebel et al., 1986)과 수치모의(Cheon and Ahn, 2008; Hanson, 1989)에 직간접 입력변수로 활용되고 있으며 정확한 입도분석은 해변의 침식 및 퇴적 분석에 필수 과정이라고 할 수 있다.

해빈 모래의 입도를 분석하기 위한 방법으로는 체가름 시

험(Gee and Bauder, 1986; KSF2302, 2012), 침강튜브(settling tube)시험(Ahn, 1986; Gibbs, 1974), 현미경분석(Poole, 1957), 레이저회절분석(Beuselink et al., 1998; Konert and Vandenberghe, 1997) 등 여러 방법이 있다. 그러나 위의 방법들이 보편적으로 사용되어지고 있지는 않으며 실제로 가장 널리 이용되고 있는 것은 체가름 시험법이다. 이는 다른 방법에 비해 장비의 가격이 저렴하고 규격화된 체를 사용하며 각각의 체에 남아있는 모래의 실제무게를 측정함으로써 직접적으로 시료의 무게를 측정하지 않는 타 방법에 비해 비교적 손쉽게 신뢰성과 정확성을 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 체가름 시험은 다른 분석 방법과 비교해 입도분석에 필요한 모래의 양이 상대적으로

*서울대학교 건설환경공학부 (Corresponding author : Se-Hyeon Cheon, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea, Tel: +82-2-880-8836, Fax: +82-2-873-2684, shcheon95@gmail.com)

**한동대학교 공간환경시스템공학부 (School of Spatial Environmental System Engineering, Handong Global University, Pohang, Kyeongbuk, 791-708, Korea)

***서울대학교 건설환경공학부 및 공학연구소 (Department of Civil and Environmental Engineering & Engineering Research Institute, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea)

로 많고 전처리 과정과 체가름 작업에 필요한 인력과 시간이 상대적으로 많이 소요되어 시료의 양이 적고 분석할 시료의 수가 많은 경우 적용이 어려운 단점이 있다. 또한 체가름에 사용되는 체의 규격이 다양하지 않아 입경이 일반 흙에 비해 상대적으로 균일한 모래의 경우 입도 분포를 정확하게 파악하는데 한계가 있다. 체진동기 사용 시 발생하는 진동과 소음 그리고 미세먼지 또한 체가름 시험법의 단점이라 할 수 있다.

최근 컴퓨터와 광학장비가 발전함에 따라 체가름 시험법 대신 이미지를 이용한 흙의 입도분석에 대한 다양한 접근이 연구되어 왔다. 연구의 방향은 이미지를 취득하는 광학장비를 제안하는 것(McCave and Syvitski, 1991; Beuselinck et al., 1998)과 광학장비로부터 취득한 이미지를 이용해 실제 모래로 변환하는 과정의 정확성을 확보하는 것(Mertens et al, 2006; Fernlund et al., 2007; Taylor, 2002; Maerz, 2004; Tutumluer et al., 2005)으로 나눌 수 있다.

현재까지 흙(단, 여기서부터 흙은 모래 혹은 모래보다 작은 흙을 의미함)의 입도분석에 사용된 광학장비로는 디지털 카메라, 현미경, 입체스캐너 등이 있으며 각각의 장비에 최적화된 분석 방법을 제안해 높은 정확성을 확보하고 있다. 그러나 언급된 각각의 광학입도분석 장비들은 모두 고가일 뿐 아니라, 그 주요 분석 범위가 초미립자단위 또는 세포단위이기 때문에 흙의 입도분석에는 현실적으로 사용되지 않고 있으므로, 흙의 입도분석 장비라기 보다는 정밀공학 또는 생명공학 분야의 장비라고 할 수 있다. 또한 입체스캐너를 이용한 입도분석 장비의 경우 입자를 3차원 스캔을 통하여 분석하고 있어 한 번에 분석할 수 있는 시료의 양이 적고 분석에 많은 시간이 소요되기 때문에 공학적 용도로 흙의 입도분석에 활용되기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 입도분석의 범위를 해변 모래로 제한시키는 대신 시간적, 경제적으로 효율성이 높은 입도분석 기법으로 범용 평판 스캐너를 이용한 모래의 입도분석 기법을 제안하였다. 또한 제안된 입도분석 기법을 체가름 시험법과 비교하여 정확도와 효율성을 검증하였다.

2. 연구방법

2.1 개요

현재 시판되는 범용 평판 스캐너의 해상도는 1200, 2400, 3600, 4800 ppi(pixels per inch) 정도이다. 해상도가 1200 ppi인 경우 1 인치의 직선을 나타내기 위해서 1200 개의 픽셀(pixel)이 사용되며, 이로부터 해상도 1200 ppi의 스캐너를 사용할 경우 입자의 최소 분석범위가 약 21 μm 인 것을 알 수 있다. Fig. 1은 입경이 약 0.4 mm인 모래 입자를 범용 평판 스캐너를 이용하여 1200 ppi 해상도로 스캔한 결과이다. 여기서 모래 입자를 구성하는 작은 정사각형들의 한 변의 길이가 21 μm 이다. 모래의 입자의 최소 직경이 60 μm 이고(Table 1) 체

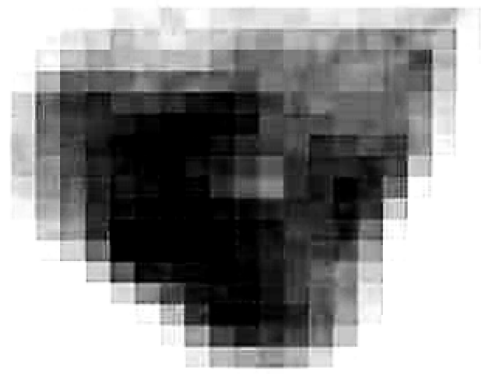


Fig. 1. Example of scanned image of sand particle at a resolution of 1200 ppi.

Table 1. Scale of sediment size classification

Wentworth Scale Size	Size		Unified Soil Classification (USC)
	ϕ	mm	
Boulder	-8 ~	256 ~	Cobble
Cobble	-6 ~ -8	64 ~ 256	Gravel
Pebble	-2 ~ -6	4 ~ 64	
Granule	-1 ~ -2	2 ~ 4	Coarse
S a n d	Very Coarse	0 ~ -1	1 ~ 2
	Coarse	1 ~ 0	0.5 ~ 1
	Medium	2 ~ 1	0.25 ~ 0.5
	Fine	3 ~ 2	0.125 ~ 0.25
	Very Fine	4 ~ 3	0.0625 ~ 0.125
	Silt	8 ~ 4	0.00391 ~ 0.0625
	Clay	12 ~ 8	0.00024 ~ 0.00391
	Colloid	~ 12	~ 0.00024
			Silt or Clay

가름 시험법에서 사용하는 체의 최소 눈금이 75 μm 인 것을 고려해 볼 때 1200 ppi 해상도를 가진 범용 평판 스캐너를 이용하여 모든 크기의 모래 입자를 분석할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 현재 범용 평판 스캐너의 해상도는 계속해서 증가할 것으로 기대되므로 스캐너를 이용해 얻어지는 모래 입자의 이미지 해상도는 계속해서 향상될 것으로 기대된다.

2.2 연구 절차

연구는 암실상자의 제작, 범용 평판 스캐너를 이용한 모래의 입도분석, 동일 시료에 대한 체가름 시험, 비교 검증의 과정으로 수행되었다.

2.2.1 시료의 채취

본 연구에서 제안한 범용 평판 스캐너를 이용한 입도분석을 수행하고 결과를 검증하기 위해 경상북도 동해안에 위치한 해수욕장 다섯 곳의 백사장 모래를 시료로 사용하였다. 시료를 채

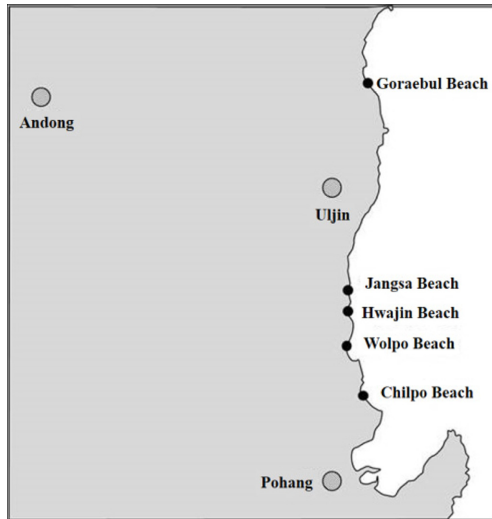


Fig. 2. Sampling sites of sand.

Table 2. Information about used sieves

Sieve number	14	18	20	30	40	50	60	70	100	200
Mesh size (mm)	1.4	1	0.85	0.6	0.425	0.3	0.25	0.212	0.15	0.075

취한 지점은 고래불해수욕장, 장사해수욕장, 화진해수욕장, 월포해수욕장, 그리고 칠포해수욕장 등이며 위치는 Fig. 2와 같다.

시료의 채취는 각각의 해수욕장 해안선의 중심에서 포말대 최상층부의 모래를 300 g 채취하였으며 모래 채집 시 표층의 10 cm의 모래를 제거한 후 시료를 채집하였다.

2.2.2 체가름 시험

채집한 모래는 각각 플라스틱 백을 이용하여 저장하였으며 채집된 시료는 흙의 입도 시험 방법(KSF2302, 2012)을 따라 체가름 시험을 수행하였으며 사용된 체의 구성은 Table 2와 같다.

2.2.3 암실 상자

범용 평판 스캐너를 이용해 모래 입자의 이미지를 효과적으로 얻기 위해 다음 두 가지 사항을 고려해 암실 상자를 제작하였다. 첫째, 스캐너 상부의 유리판을 보호할 수 있어야 한다. 이는 스캐너 상부 유리판의 주요 성분이 석영이기 때문에 경도가 같은 모래를 뿌리고 제거하는 과정에서 스캐너의 상부 유리판에 영구적인 흠집이 생겨 장비의 수명을 단축시키며 입도분석 시 흠집으로 인한 오차가 발생할 가능성이 있기 때문이다. 스캐너 상부 유리판을 보호하기 위해서는 교체 가능한 투명한 재질의 필름 또는 유리를 사용하며 그 위에 모래를 뿌린 후 이를 스캔할 수 있어야 한다. 둘째, 모래 입자의 선명도를 향상시켜야 한다. 모래 입자의 경우 석영의 함량에 따라 투과성이 있는 백색 또는 황색계열의 색상을 가지게 된다. 따라서 그 특성상 모래 입자 이외의 색을 검정색으로 조정할 때 가

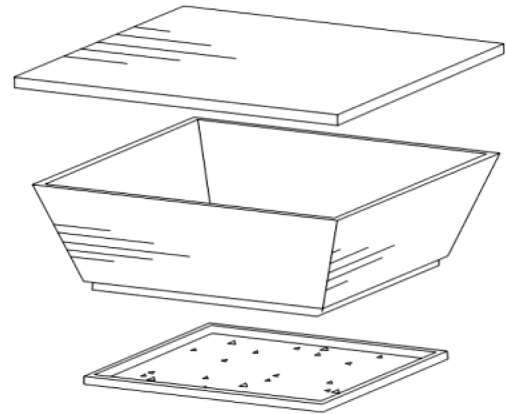


Fig. 3. Sketch of darkroom box.

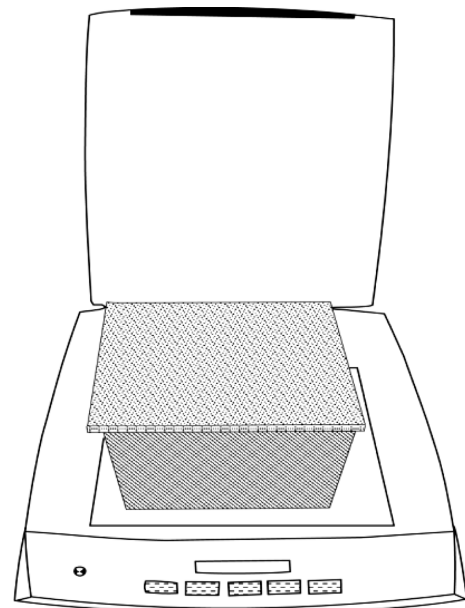


Fig. 4. Sketch of an installed darkroom box on a flat-bed scanner.

장 선명한 이미지를 얻을 수 있다. 따라서 배경색을 검정으로 통일하기 위해서 모래가 스캔되는 배후의 색을 검정으로 통일시켜야 하며 모래의 배치에 영향을 주지 않기 위해서 배경이 되는 부분은 모래와 일정 수준 떨어져서 위치할 필요가 있다.

위의 두 가지 기능을 고려하여 상부는 개방 가능한 덮개로 구성되며 하부에는 유리판 혹은 필름이 탈착되는, 사다리꼴 형태의 암실 상자를 제작하였으며 이를 사용하여 모래 입자를 스캔하였다(Figs. 3~4).

2.2.4 모래 입자의 스캔과 이미지 저장

수집된 모래 시료 300 g를 잘 섞은 후 스캔할 모래 0.2 g을 분리해 스캔용 암실상자와 범용 평판 스캐너를 이용하여 모래 입자의 이미지를 1200 ppi의 해상도를 가진 인덱스비트맵(index BMP) 형식의 파일로 저장한다. 다른 형식의 파일의 경우 파일의 용량이 줄어드는 대신 원본 이미지 정보가 압축과정에서 손실될 우려가 있으나 인덱스비트맵 형식의 파

일의 경우 파일 압축을 수행하지 않아 데이터의 손실을 막을 수 있다. 또한 각 화소 당 색상치를 모두 0에서 255 사이의 정수 값으로 저장하고 있으므로 분석에 보다 유리하다. 모래를 스캔할 때 스캔 옵션을 회백조로 선택하여야 하는데 이것은 칼라로 스캔을 실행할 경우 비트맵 파일에 빨강, 초록, 파랑의 각각의 색상 값을 가지게 되므로 명암 분석에 별도의 분석 알고리즘이 필요하게 되지만 회백조의 경우 흑백의 명암 값만을 저장함으로 불필요한 계산과정을 줄일 수 있다.

2.2.5 이미지 전처리

효과적인 이미지 분석을 위해 본격적인 이미지 분석에 앞서 비트맵 형식으로 저장된 이미지를 입도분석에 적합하도록 처리하는 과정이 선행되어야 한다.

첫째, 분석할 데이터의 크기를 줄이기 위하여 비트맵 파일에서 화소별 색상치를 제외한 모든 값을 삭제하며 각 화소에 저장된 3개의 색상정보를 하나로 줄인다. 비트맵 파일은 파일 헤더(file header), 정보헤더(information header), 팔레트(palette, 색상 정보), 이미지 정보 등으로 구성되어 있으며 이미지 정보는 빨강, 초록, 파랑의 세 가지 색에 대한 색상 값으로 저장된다. 그러나 회백조 형식의 비트맵 파일의 경우 빨강, 초록, 파랑의 각각의 저장 공간에 동일한 명암 값이 기록되어 있다. 따라서 비트맵 파일의 파일헤더, 정보헤더, 팔레트 등을 모두 삭제한 후 각 화소 당 하나의 색상 정보만을 가지는 새로운 이미지 행렬을 생성한다. 이는 분석에 필요한 메모리를 절약할 뿐 아니라 분석 시간을 줄여 주는 역할을 한다.

둘째, 색의 대비를 향상시킨다. 회백조로 저장된 비트맵 파일은 특성상 0에서 255 사이의 값을 갖는다. 이 경우 색 값이 넓게 분포하고 있으므로 음영과 같은 모래 입자 외적 요소들이 이미지 분석을 어렵게 한다. 따라서 입자를 분명하게 나타내고 분석을 용이하게 만들기 위해 색 값이 100 미만인 부분을 추출하여 배경으로 인식하도록 색 값을 0으로 지정하고, 나머지 부분을 모두 255의 백색으로 지정한다(Fig. 5).

2.2.6 이미지 분석

이미지 전처리 과정에서 명암 대비도가 향상된 이미지 데이터를 이용하여 스캐너에 뿌려진 모래 입자의 분포를 구하



Fig. 5. Example of high-contrast image.

는 과정은 다음과 같다.

첫째, 이미지를 스캔하는 과정에서 발생하는 배경(background image)을 이미지로부터 추출한다. 암실상자를 이용하여 모래를 제외한 배경을 검정색으로 통일하였으나 스캐너의 상판 유리에 흡착된 먼지나 얼룩에 의해서 또는 스캔 유리 상판에 유리를 보호하기 위해서 설치한 필름이나 유리에 존재하는 얼룩이나 먼지에 의해서 스캔된 이미지 상의 얼룩이 발생하게 된다. 이런 얼룩은 명암대비를 증가할 경우 미소입자로 인식되게 되는데 이러한 가능성을 배제하기 위하여 입경이 3픽셀 이하의 입자를 모두 이미지에서 삭제해 배경 이미지를 완전히 제거할 수 있다. 물론 이때 실제 입자가 같이 제거될 가능성이 존재하기는 하겠지만 본 연구의 입도분석의 범위가 모래로 제한되어 있기 때문에 실제 제거되는 입자의 양은 전체 질량에 비교해 매우 소량으로 분석에 영향을 미치지 않는다.

둘째, 색 값이 255인 픽셀의 인접성을 분석하여 각 입자에 고유번호를 부여한다. 이미지 정보를 순서대로 읽어 색 값이 255인 화소에 인접한 색 값이 255인 화소를 같은 입자로 판단하여 각 입자에 고유번호를 부여하여 각각 입자를 구분한다(Fig. 6).

셋째, 입자의 직경을 구한다. 스캔된 모래 입자로부터 실제 모래 입자의 직경을 추정하는 방법은 어떤 가정을 하고 모래의 직경을 추정하느냐에 따라 매우 상이한 결과를 나타내게 된다. 스캔된 모래 입자는 완전한 원형이 아닌 타원체에 가까운 다각형이라고 할 수 있다(Fig. 7). 따라서 단일 모래 입자의 직경을 결정하기 위해서는 단축, 장축 혹은 면적으로부터 구한 평균 직경 중 어느 것을 사용하느냐에 따라 입도분석 결과가 크게 바뀔 수도 있으므로 이를 결정하는 것은 입도분석에 매우 중요하다. 본 연구에서는 모래 입자의 입경은 단축을 사용하여 산정하였으며, 부피의 경우 장축과 단축의 평균값을 사용하였다. 모래 입자의 부피를 계산하기

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 6. Example of indexed sand grain.

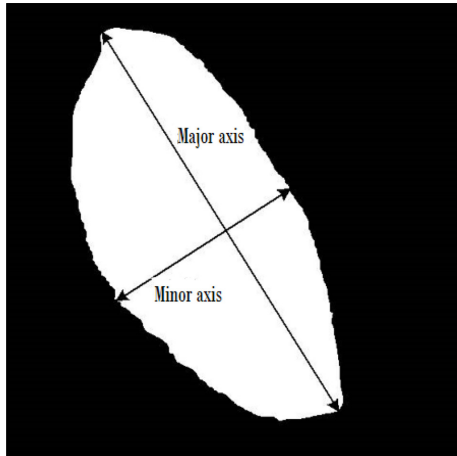


Fig. 7. Major and minor axis of the scanned sand grain image.

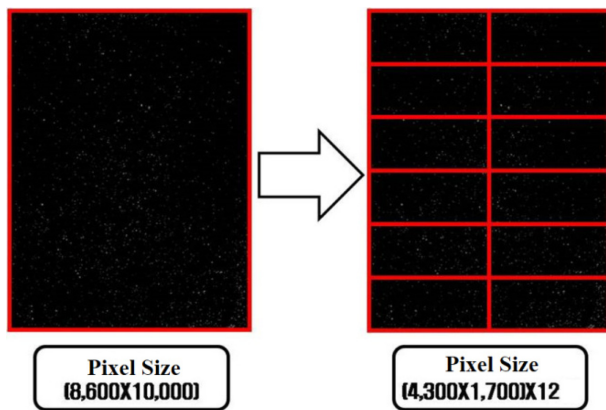


Fig. 8. Example of splitted image.

위해서 모래의 입자를 완전한 구(球)로 가정하였다.

넷째, 각각의 모래 입자의 크기로부터 모래 입자의 누적 분포를 구한다. 체가름 시험에서 각 체에 남아 있는 모래의 중량을 분석하여 누적분포를 구하는 반면 본 연구에서는 모든 모래 입자가 동일한 비중을 가진다는 가정 하에서 부피의 비율로부터 입경에 따른 누적분포를 구할 수 있다.

2.2.7 이미지 분할

1200 ppi의 해상도를 가지는 A5(148 mm × 210 mm) 크기의 BMP 이미지 파일을 분석하기 위해서는 약 600 초 정도의 시간이 소요된다(CPU: Intel core2duo, Memory: 1 Mb의 경우). 본 연구에서는 낮은 사양의 컴퓨터에서도 이미지 분석이 가능하게 함과 동시에 분석 시간을 단축하기 위해 이미지를 작은 크기로 나눈 뒤 입도분석을 수행하였다(Fig. 8). 나누어진 이미지를 하나씩 분석하여 각각의 분석 결과만을 저장하고 이미지는 메모리에서 지워버린 결과 입도분석에 필요한 비교분석의 횟수가 급격히 감소하고 무엇보다 큰 크기의 데이터를 계속해서 처리해야 되는 부담을 줄일 수 있어 컴퓨터 메모리를 보다 효율적으로 사용할 수 있었으며 입도분석에 필요한 시간을 60 초 정도로 감소시킬 수 있었다.

3. 연구 결과 및 토의

3.1 오차 분석

스캐너를 사용해 모래 입자를 이미지화 하고 이로부터 모래의 입도분포를 얻는 과정에는 많은 오차의 가능성이 존재하게 된다. 따라서 스캔 이미지를 이용하여 입도분석을 수행하기 위한 신뢰성을 확보하기 위해서는 이들 오차의 가능성을 검증하고 발생하는 오차에 대한 보정이 필요하다.

본 연구에서 제안한 방법으로 입도를 분석하는 과정 가운데 발생할 수 있는 오차 중 검증과 처리가 가능한 오차는 다음과 같다. 첫째, 스캔을 수행하기 전 샘플 처리과정 오차(시료의 양, 편향된 추출, 도포시의 뭉침)와 둘째, 저 해상도에 의한 이미지 정보 누락에 의한 오차, 그리고 셋째, 모래의 기하학적 가정에 의한 오차가 있다.

각각의 오차발생 가능성에 대한 검증작업을 수행하였으며 발생오차를 줄이기 위한 개선책을 제안하였다.

3.1.1 전처리과정 오차

스캔된 이미지로부터 입도를 분석하기 위해 현장에서 모래를 채집하고 이를 스캐너에 도포하는 단계까지의 과정을 전처리 과정으로 정의할 때, 전처리 과정에서 발생가능한 오차는 크게 다음 세 가지로 생각해볼 수 있다. 첫째, 현장에서 채집된 300 g의 모래 시료를 스캐너에 도포하기 위해 0.2 g 추출(sampling)하는 과정에서 편향된 시료가 채취될 가능성이 있다. 둘째, 추출된 모래를 스캐너에 도포하는 과정에서 발생하는 뭉침에 의해서 오차가 발생할 가능성이 있다. 셋째, 스캔하는 시료의 양(0.2 g)이 부족하여 오차가 발생할 가능성이 있다.

우선 편향된 시료에 의한 오차의 가능성을 제외시키기 위해서 체가름 시험을 수행한 300 g의 시료를 시약스푼을 이용해 약 60 초간 잘 섞어 각각 60 g씩 5개의 용기에 나누어 담는다. 60 g씩 나누어 담은 시료를 다시 시약스푼을 이용해 약 30초간 잘 섞어 각각의 용기로부터 약 2 g의 모래를 채취하여 이를 섞어 별도의 용기에 담아 이로부터 스캔할 모래 0.2 g을 채취함으로써 시료의 편향성을 최대한 배제시켰으며 본 연구에서 제시하는 모든 이미지분석의 전처리 과정에서 위와 같이 수행하였다.

모래 입자의 뭉침에 의한 오차를 평가하기 위해서 스캔된 이미지를 이미지 편집 프로그램(Photoshop CS6)을 이용하여 뭉쳐진 부분을 찾아서 분리시킨 뒤 뭉쳐진 입자의 개수를 기록하고 이미지 분석을 수행하여 이를 이미지 편집 전과 비교하여 이미지 뭉침에 의한 오차를 분석하였다(Fig. 9).

원본 이미지로부터 뭉쳐진 부분을 완전히 제거한 뒤 실시한 이미지 분석결과는 Fig. 10과 같다. Fig. 10은 고래불해수욕장에서 채취된 샘플을 이용하여 체가름 시험과 이미지 분석을 수행한 결과이며 모래의 뭉침에 의한 오차는 매우 작음을 알 수 있다. 또한 5개 해수욕장에서 채취한 시료를 동일한 방법으로 분석한 결과 전체 모래 입자의 개수는 2.0×10^4 이상이며 입자 중 뭉쳐진

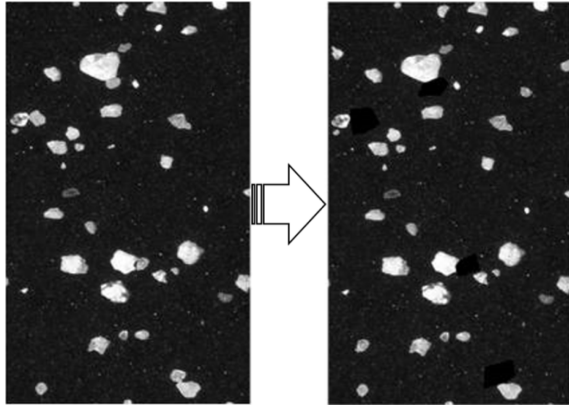


Fig. 9. Example of overlapped image modification.

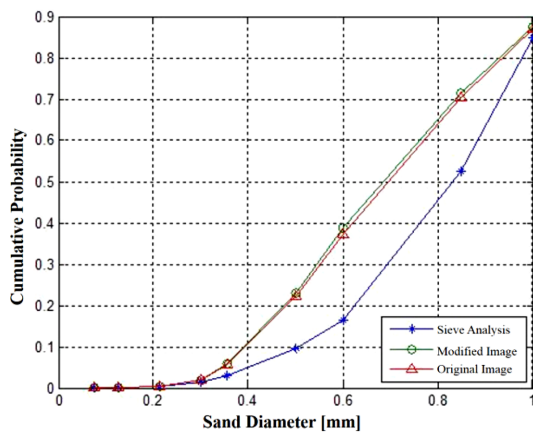


Fig. 10. Sand size distributions with and without overlapped image modification (Goraebul Beach).

입자의 개수는 1% 미만으로 입자 전체의 부피에 비하여 뭉쳐진 입자의 부피가 매우 작아 개선효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

따라서 모래 입자를 도포할 때 뭉침에 세심하게 고려해 고르게 모래를 도포할 경우 모래 입자의 뭉침에 의한 오차는 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

모래의 입도분포를 위한 체분석의 경우 필요한 모래의 양은 200 g 이상으로 이를 본 연구에서 제안한 이미지 분석법으로 대체했을 경우 분석하는 입자의 절대량의 부족으로 인한 오차가 발생할 가능성이 있을 뿐 아니라 스캐너에 뿌려질 모래의 적정량을 결정하기 위해서 스캐너에 뿌려질 입자의 양을 0.2 g, 0.4 g, 그리고 0.6 g으로 점차적으로 증가시키며 각각

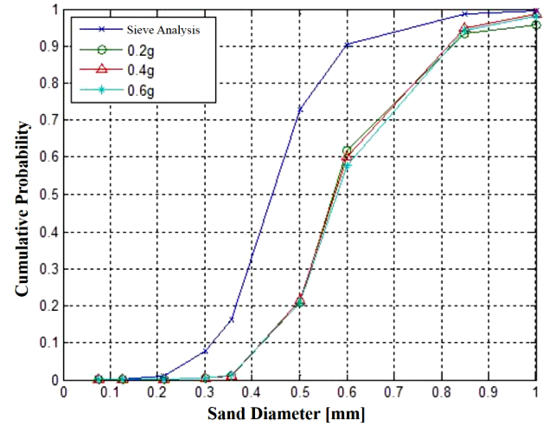


Fig. 11. Sand size distributions for different amounts of sample (Chilpo Beach).

의 이미지를 스캔하고 이를 분석하여 입도분포의 결과를 얻었으며 이 결과를 체가름 시험법의 결과와 비교하였다(Fig. 11).

Fig. 11은 칠포해수욕장에서 채취한 모래를 이용해 체가름 시험법과 스캐너를 이용한 입도분석 방법을 각각 수행한 결과이며 큰 오차가 발생한다. 이러한 오차를 개선하기 위해 스캔에 사용된 모래의 양을 변화시켜가며 입도분석을 수행하였으나 개선 효과가 거의 없어 스캔에 사용되는 모래의 양과 입도분석 방법의 정확도 사이에는 큰 인과관계가 존재하지 않는 것으로 판단된다. 또한 모래의 직경이 작은 경우(약 0.5 mm 이하) 스캔에 사용된 모래의 양에 영향을 받지 않고 입도의 분포가 일정한 패턴을 보인다. 그러나 모래의 직경이 0.5 mm 이상일 경우 스캔하는 모래의 양에 따라 입도분포의 패턴이 소폭의 변화를 보이고 있다. 그러나 이러한 변화는 스캔에 사용된 모래의 양에 따라 일정한 경향성을 보이지 않고 있다. 따라서 Fig. 11에서 발생된 오차는 스캔에 사용되는 모래의 양에 의한 오차가 아니라 다른 요인에 의해 오차가 발생된 것임을 알 수 있다.

또한 스캔에 0.6 g 이상의 모래를 사용할 경우 A5 크기의 면적에 모래를 뭉침 없이 도포하는데 어려움이 있다. 따라서 효율성을 고려해 봤을 때 스캔에 사용할 모래의 양은 0.2~0.3 g이 적당할 것으로 판단된다.

3.1.2 해상도에 따른 오차

1200 ppi 해상도로 모래 입자를 스캔할 경우 이론상 모래의 크기를 분석할 수 있으나 Fig. 12에서와 같이 저해상도로

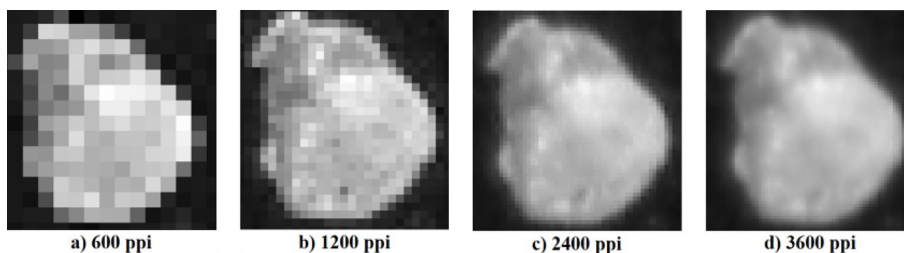


Fig. 12. Sand grain images scanned at different resolutions (0.5 mm).

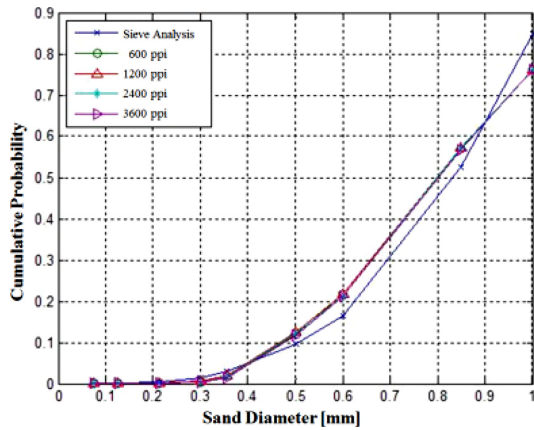


Fig. 13. Sand size distributions for different scanning resolutions (Goraebul Beach).

Table 3. Comparison of run-time for scanning and computing

Resolution (ppi)	Image size	File size (Mb)	Scanning time (s)	Analyzing time (s)
600	A5	15	40	20
1200	A5	60	120	40
2400	A5	230	420	180
3200	A5	440	900	360

스캔을 할 경우 모래 입자의 형태가 많이 왜곡되는 것을 알 수 있다. 따라서 모래 입자의 경계부분을 결정하는 과정에서 이미지의 크기가 왜곡될 가능성이 있어 스캔하는 해상도에 따른 입도분포 결과를 비교하였다.

고래불해수욕장의 모래를 이용하여 이미지 분석을 수행한 결과 Fig. 13에서와 같이 해상도에 따른 입도분포의 차이는 크게 나타나지 않고 있다.

고해상도의 이미지를 사용하여 입도분포를 계산할 경우 보다 더 정확한 결과를 얻을 수 있는 반면 Table 3과 같이 이미지 분석에 소요되는 시간이 급격하게 늘어나는 단점이 있다. 따라서 스캔과 이미지 분석에 소요되는 시간 그리고 정확성을 고려해 볼 때 1200 ppi 해상도로 모래를 스캔하여 이미지 분석을 수행하는 것이 가장 합리적인 선택이라고 할 수 있다.

3.1.3 모래 입자에 대한 기하학적 가정에 의한 오차

모래 입자의 2차원 이미지로부터 3차원 모래의 부피를 산정하여야 하므로 모래 입자의 기하학적 가정에 따라 모래의 입도가 변하게 된다. 따라서 입도의 오차를 줄이기 위해서 적절한 기하학적 가정을 하는 것이 매우 중요한 과제라고 할 수 있다. 본 연구에서는 적합한 기하학적 가정을 하기 위해 모래를 Fig. 14와 같이 완전구형과 타원체로 각각 나누었다. 각각의 기하학적 가정으로부터 산정된 모래의 입도분포는 Fig. 15와 같다.

구형 가정의 경우 스캔된 모래입자의 면적에 해당되는 원의 직경을 사용하여 모래의 형태를 가정하였으며 타원체 가

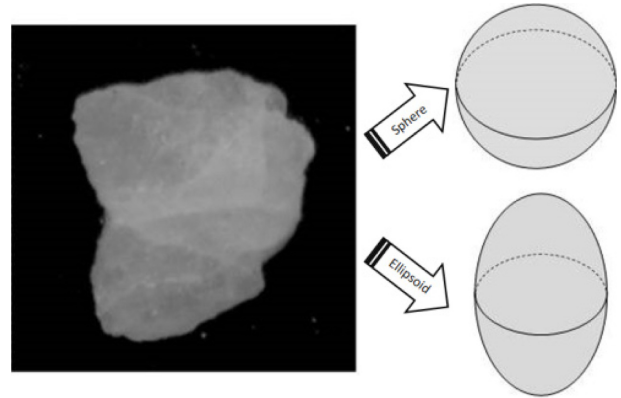


Fig. 14. Example of geometric assumption.

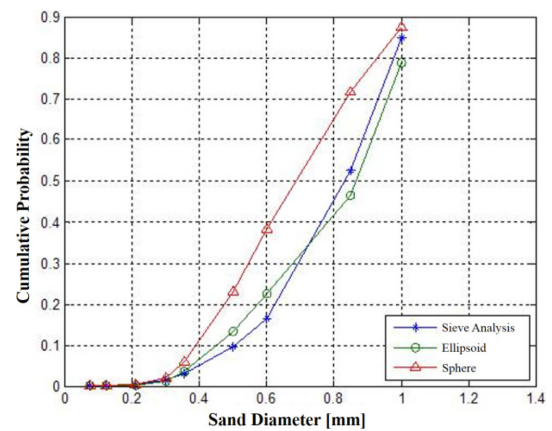


Fig. 15. Sand size distributions for different geometric assumptions (Goraebul Beach).

정의 경우 Fig. 7과 같이 스캔된 모래 이미지로부터 장축과 단축을 산정하고 이 타원을 장축을 기준으로 회전시켜 만들어진 타원체를 모래의 기하학적 형태로 가정하였다.

Fig. 15에서와 같이 모래의 형태를 구형으로 가정할 경우 모래의 입경이 전체적으로 과소평가되는 경향을 보이고 있으나 모래의 형태를 타원체로 가정할 경우 체가름 시험법과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 입도분석에 사용된 모래가 구형보다는 타원체에 가깝다는 것을 의미한다. 따라서 백사장 모래를 구형으로 가정하는 통념은 재고의 필요가 있을 것으로 생각되며 모래의 입자를 타원체로 가정하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다.

3.2 입도분석 결과

해수욕장 다섯 곳에서 채취한 시료를 이용하여 입도분석을 수행하였다. 각각의 해수욕장에서 300 g의 시료를 채취하여 동일한 시료를 체가름 시험 및 본 연구에서 제안한 스캐너를 이용한 분석법으로 각각 입도분석을 수행하였다. 전처리 과정으로 채집한 모래를 증류수로 세척 후 건조기에서 완전히 건조하였으며 모래 이외의 불순물의 함량이 거의 없어 별도의 불순물 제거 작업은 수행하지 않았다. 이후 준비된 시료를 체진동기를 사용하여 체가름을 실행한 후 0.01 g의 정밀

도를 가지는 저울을 사용하여 각 체에 남은 시료의 무게를 측정하여 이로부터 모래의 입도분포를 산정하였다. 본 연구에서 제안한 이미지 분석법을 적용하기 위해 체가름 시험에 사용한 모래 시료 중 0.3 g씩을 채취하였으며, 모래 이미지의 스캔 해상도는 1200 ppi로 통일하였다. 모래 입자는 모두 타원체로 가정하였으며 이 가정으로부터 각 모래 입자의 부피를 산정하고 이로부터 누적확률분포를 계산하였다. 또한 체가름 시험과 본 연구의 방법을 비교하기 위하여 단축을 기준으로 각

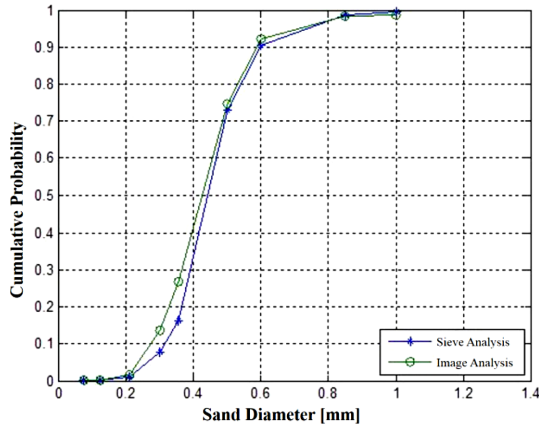


Fig. 16. Sand size distributions at Chilpo Beach.

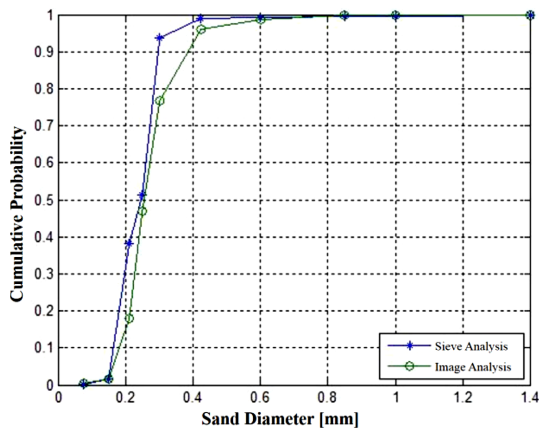


Fig. 17. Sand size distributions at Wolpo Beach.

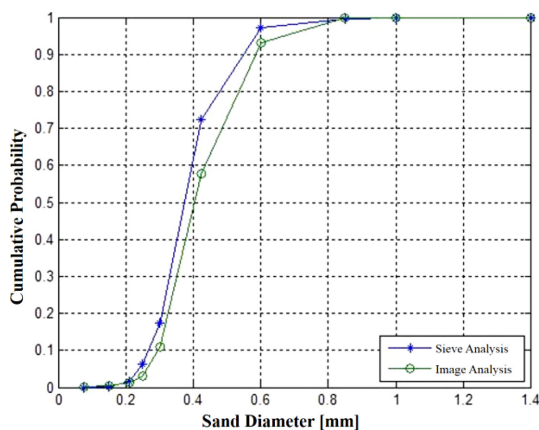


Fig. 18. Sand size distributions at Hwajin Beach.

체눈의 크기로 모래의 입경을 각각 분류하고 장축과 단축을 이용한 타원체 가정을 통해 모래 입자의 부피를 산정하였다.

두 분석법을 비교하기 위하여 동일 시료에 대한 각각의 분석 결과를 같은 그림에 도시화 하였으며 Figs. 16~20과 같다. 또한 해변 침식에 중요하게 이용되는 평균입경과(D_{50} ; 단 여기서부터 D_i 는 입도분포곡선에서 통과 백분율 $i\%$ 에 해당하는 입경을 의미함), 흙의 입도분석에서 중요하게 이용되는 균등계수($C_u = D_{60}/D_{10}$), 곡률계수($C_c = D_{30}^2/[D_{10} \times D_{60}]$) 등도 함께 산출하였으며 결과는 Table 4에 나타내었다.

Figs. 16~20에서 체가름 시험법에 의한 입도분포와 본 연구에서 제안된 방법을 이용한 입도분포의 결과가 유사하게 나

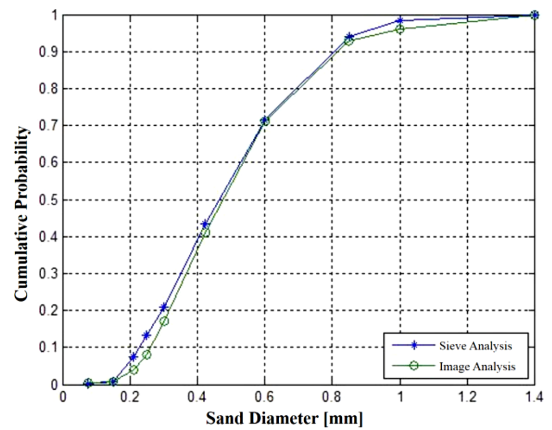


Fig. 19. Sand size distributions at Jangsa Beach.

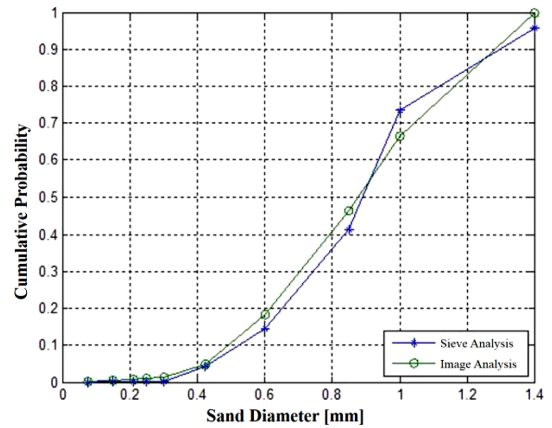


Fig. 20. Sand size distributions at Goraebul Beach.

Table 4. Comparison between image analysis and sieve analysis.

Site		Chilpo Beach	Wolpo Beach	Hwajin Beach	Jangsa Beach	Goraebul Beach
Mean Dia. (mm)	Sieve	0.44	0.24	0.37	0.47	0.89
	Image	0.47	0.27	0.40	0.47	0.90
Coeff. Uniformity	Sieve	1.48	1.57	1.49	2.31	1.79
	Image	1.38	1.51	1.50	2.04	2.02
Coeff. Curvature	Sieve	1.04	0.92	1.02	1.012	1.23
	Image	0.96	1.03	0.95	0.97	1.08

타났다. 평균입경의 경우 최대 오차가 0.03 mm로 모든 경우에서 이미지 분석에 의한 결과 값이 더 크게 나타났다(Table 4). 균등계수와 곡률계수의 경우 최대 오차가 각각 0.27과 0.15로 대부분의 경우 이미지 분석에 의한 결과 값이 더 작은 것으로 나타났다(Table 4).

4. 결 론

체가름 시험법을 대체할 수 있는 방법으로 범용 평판 스캐너를 이용한 입도분석 분석법을 제안하였으며 제안한 분석법의 정확도를 향상시키기 위해 발생가능 오차를 검증 및 보정하였다.

오차 검증결과 모래를 스캔한 이미지의 해상도는 모래 입도분석 시 발생하는 오차에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며 모래입자를 완전한 구로 가정하는 기하학적 가정이 모래 입도분석 시 발생하는 오차에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 기하학적 가정에 의한 오차를 보정하기 위해 모래 입자를 타원체로 가정하였으며 전처리 과정의 절차를 제안해 전처리 과정에서 발생 가능한 오차를 가능한 배제시켰다. 오차 보정 방법을 경상북도 동해안의 해수욕장 다섯 곳의 모래 입도분석에 적용하였으며 동일 시료에 대한 체가름 시험법의 결과와 비교하여 제안한 분석법의 정확도를 검증하였다.

오차 검증 과정을 통해서 다음을 알 수 있었다.

첫째, 모래 입자를 스캔하는데 필요한 시간, 이미지 분석에 필요한 시간, 그리고 계산의 정확성을 고려해 볼 때, 모래 입자 이미지의 해상도는 1200 ppi가 가장 적합할 것으로 생각된다. 둘째, 모래 뭉침 효과를 최소화 하고 이미지 분석의 정확성을 고려할 때 스캐너에 도포 할 모래의 양으로는 0.2~0.4 g이 적합할 것으로 판단된다. 셋째, 모래 입자의 부피를 산정하기 위해 모래 입자를 타원체로 가정할 때 가장 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

Figs. 16~20에서와 같이 체가름 시험법에 의한 입도분석 결과와 스캐너를 이용한 분석결과가 유사하게 나타났다. 해수욕장 다섯 곳의 체가름 시험에 의한 입도분포와 비교했을 때 평균입경의 최대 오차가 약 0.03 mm, 균등계수와 곡률계수의 최대 오차가 각각 0.27, 0.15로 나타나 체가름 시험법과 유사한 분석 결과를 나타내고 있다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 입도분석 방법을 이용할 경우 0.3 g의 소량의 시료 분석을 통해 300 g의 시료를 이용한 체가름 시험에 준하는 분석 정확도를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 21은 칠포해수욕장에서 서로 다른 4개 지점을 선택해 모래를 채집하고 이를 체가름 시험한 결과이다. Fig. 21에서 나타난 바와 같이 동일 해변에서도 시료를 채취한 지점에 따라 모래 입도가 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 각 해변의 모래 입경 분포를 보다 정확하게 분석하기 위해서는 입도분석에 사용할 시료를 해변 전역에 걸쳐 고르게

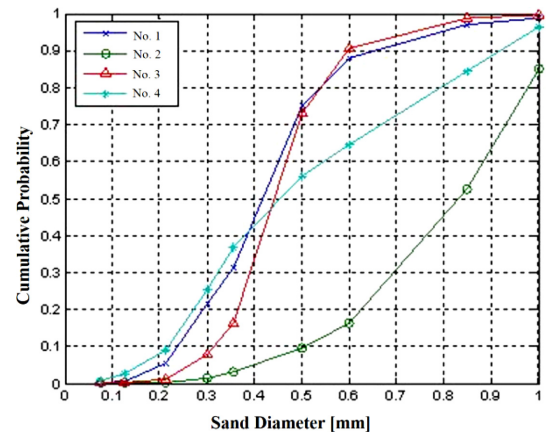


Fig. 21. Sieve analysis results of sand size distribution for different sampling locations in Chilpo Beach.

채취할 필요가 있다. 현재 가장 널리 적용되고 있는 체가름 시험법의 경우 샘플의 개수가 많은 경우 분석에 많은 시간과 노력이 필요하여 그 적용에 어려움이 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법을 통해 시료의 개수를 늘려 해변 모래의 입경 분포를 분석할 경우 보다 간편하고 효과적으로 분석을 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

또한 체가름 시험법에 소요되는 시간을 정확히 산정할 수 없어 정확한 비교는 어렵겠지만 체가름 시험에 수행되는 시간 중 체가름에 소요되는 시간(약 900 초)과 체에 남은 모래의 무게를 측정하는데 필요한 시간(약 1200 초)만을 고려하더라도 본 연구에서 제안한 스캐너를 이용한 분석법으로 분석시간(약 180 초)이 1/10 수준으로 단축되었다. 또한 시료의 양을 적게 함으로써 건조에 필요한 시간을 생략하거나 혹은 매우 짧은 시간에 시료의 건조를 마칠 수 있어 실제 절약되는 시간은 그 이상일 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서 제안한 범용 평판 스캐너를 이용한 입도분석 방법은 체가름 시험법 수준의 정확도를 가지고 있으며 시간과 비용의 측면에서 보다 효율적으로 해변 모래에 대한 입도분석을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원(20120007194)과 기초연구사업(400-20120112)의 연구비 지원 그리고 2013년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 경북씨그랜트사업의 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- Korean Agency for Technology and Standards (2012). Test Method for Particle Size Distribution of Soils (KSF2302) (in Korean).
- Cheon, Se-Hyeon and Ahn, Kyungmo (2008). Numerical Simula-

- tion of Beach Profile Change. *Journal of KSCOE*, 20(1), 101-109 (in Korean).
- Ahn, Kyungmo (1986). Evaluation of the Accuracy of a New Settling-Tube Method for Grain-Size Analysis. unpublished M.S. Thesis, University of Iowa, Iowa City, Iowa.
- Beuselinck, L. (1998). Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the seive-pipette method. *Catena*. 32. pp. 193-208.
- Bruun, P. (1962). Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 88.
- Dean, R.G. (1977). Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast. *Ocean Eng. Rep.*, no. 12, University of Delaware, Newark, DE, 1-45.
- Dingler, J.R. and Inman, D.L. (1976). Wave-formed ripples in near-shore sands. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(15).
- Fernlund, Joanne M.R., Zimmerman, Robert W. and Kragic, Danica. (2007). Influence of volume/mass on grain-size curves and conversion of image-analysis size to sieve size. *Engineering Geology*. 90. pp. 124-137.
- Hanson, H. (1989). Genesis: A generalized shoreline change numerical model. *Journal of Coastal Research*, 1-27.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute, A.(Ed.), *Methods of Soil analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed., Agronomy, 9. Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 383-411.
- Gibbs, R.J. (1974). A settling tube system for sand-size analysis. *Journal of Sedimentary Research*, 44(2), 583-588
- Konert, M. and Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology*, 44(3), 523-535.
- Kriebel, D., Dally, W. and Dean, R. (1986). Undistorted froude model for surf zone sediment transport. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(20).
- McCave, I.n. and Syvitski, J.P.M. (1991). Principles and methods of geological particle size analysis. In: Syvitski, J.P.M. (Ed.), *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, pp. 3-21.
- Mertens, G. and Elsen, J. (2006). Use of computer assisted image analysis for the determination of the grain-size distribution of sands used in mortars. *Cement and Concrete Research*. 36. pp. 1453-1459.
- Poole, D.M. (1957). Size analysis of sand by a sedimentation technique. *Journal of Sedimentary Research*, 27(4), 460-468.
- Syvitski, J.P.M., Leblanc, K.W.G. and Asprey, L.W. (1991). Inter-laboratory, interinstrument calibration experiment. In: Syvitski, J.P.M. (Ed.), *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, pp. 174-193.

원고접수일: 2013년 8월 15일

수정본채택: 2013년 9월 2일(1차)

2013년 10월 14일(2차)

게재확정일: 2013년 10월 28일